

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní
Katedra textilních technologií
Mechanická textilní technologie

Radiální deformace multifilu
Radial Deformation of Multifilament

Vypracovala: Fushchych Alevtyna
Vedoucí: Ing. Jana Drašarová, Ph.D.

Počet stránek textu: 24
Počet obrázku: 8
Počet tabulek: 2
Počet příloh: 2

Poděkování

Především chci poděkovat Ing. Janě Drašarové, Ph.D. za pochopení a trpělivost a taky laborantkám na katedře textilních struktur za pomoc v průběhu celé práce.

Chtěla bych poděkovat paní Ljubě Zaborcové, která pomáhala opravovat gramatické chyby v mojí práci.

Děkuji

Prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

Fushchych Alevtyna

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá radiální deformací multifilu. První část práce představuje teoretický základ, kde jsou zcharakterizované základní parametry délkové textilie a taky popsán vliv takových druhů namáhání, jako ohyb, torze, tah a tlak, na chování průřezu svazku vláken, je znázorněn rozdíl mezi strukturou příze a multifilu. Dále jsou představené už známe modely radiální deformace průměru délkové textilie. V druhé části, kterou tvoří experimentální část práce, byl zkoumán vliv tří různých zatížení na deformaci průřezu multifilu. Pro zjištění deformace byla použita metoda stlačování mezi dvěma rovnoběžnými deskami. Studium deformace probíhalo s pomocí obrazového analyzátoru LUCIA G. Jako materiál bylo použito polyesterové a polypropylenové hedvábí.

Annotation:

This baccalaureate work deals with radial deformation multifilament yarn. The first part of the work presents theory, where the basic parameters of longitudinal textile are characterized and also the influence of such types of deformation as bend, twist, traction and pressure on the behavior of the cross section of the bunch fibers is described. The difference between yarn structure and the multifilament yarn is depicted. Further, the already known models of the radial deformation of the cross-section of longitudinal textile are reported. The second part of the work is experimental, where the influences of three different strains on the deformation of the multifilament yard cross-section are investigated. To identify the value of deformation, the method of constringency between the two parallel boards was used. The deformation investigations were held using visual analyzer LUCIA G. The polyester and polypropylene silk was used as an investigated material.

Použité značky:

F_a [N]	axiální síla
F_z [N]	dostředivá síla
m [kg]	hmotnost
T [tex]	jemnost multifilu
α [$\text{m}^{-1} \text{ktex}^{1/2}$]	Köchlinův zákrutový koeficient
ρ [kg m^{-3}]	měrná hmotnost
V [m^3]	objem útvaru
S [m^2]	obsah plochy
L [m]	obvod průřezu
P [cN dtex $^{-1}$]	pevnost
am [$\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$]	Phrixův zákrutový koeficient
PES	polyesterové hedvábí
POP	polypropylenové hedvábí
α [1]	poměrné rozšíření
β [1]	poměrné stlačení
e [1]	poměrné zploštění
D [m]	průměr multifilu
F_r [N]	radiální síla
ε_2 [1]	relativní rozšíření
ε_1 [1]	relativní stlačení
s [1]	seskání
D_s [m]	substanční průměr multifilu
A [%]	tažnost
p [Pa]	tlak
l_0 [m]	upínací délka
μ [1]	zaplnění
Z [m^{-1}]	zákrut

Obsah:

1	Úvod	7
2	Rešeršní část	8
2.1	Definice textilních délkových útvarů	8
2.2	Charakteristika základních parametrů délkové textilie	8
2.2.1	Jemnost	8
2.2.2	Průměr „volné“ niti.....	8
2.2.3	Zaplnění	9
2.2.4	Zákrut	10
2.2.5	Seskání.....	11
2.3	Síly způsobující deformace nití	11
2.3.1	Tahové namáhání.....	12
2.3.2	Ohybové namáhání	12
2.3.3	Torze	12
2.3.4	Tlakové namáhání.....	13
2.4	Geometrický model příčné deformace délkové textilie.....	15
2.5	Geometrické hypotézy	17
3	Experimentální část	20
3.1	Popis vzorků	20
3.2	Metody zjišťování deformace multifilu	20
3.2.1	Přímé měření deformace multifilu ve vazném bodě tkaniny z příčných řezů.....	20
3.2.2	Studium zplošťování multifilu ve vazném bodě tkaniny.....	21
3.2.2.1	Modelování vazného bodu křížením	21
3.2.2.2	Stlačování niti mezi dvěma rovnoběžnými deskami	23
3.3	Vlastní měření	24
3.3.1	Postup měření	25
3.3.2	Diskuse	27
3.3.3	Vyhodnocení dat a návrh regresních modelů	29
4	Závěr.....	30
	Literatura	32
	Přílohy I, II	33

Úvod

Textilní výrobky člověk používá už dlouhou dobu. První pomůcky pro výrobu textilií, které byly nalezené archeology, patří ještě k mladší době kamenné. Od té doby textilní technologie vyvrála do vysoké úrovně.

V současné době textilní obor se zabývá následujícími oblastmi: *textilní vlákno*, *délková textilie*, *plošná textilie*, *prostorová textilie*. Jmenované útvary jsou zahrnovány do obecného pojmu „textilie“ [2]. Základním textilním útvarem je vlákno. Při seskupování vláken vznikne textilní délkový vlákenný útvar, který se nazývá nit. Pod názvem nit rozumíme dvě skupiny vlákenných útvarů: příze a multifil. Specifickým vzájemným provázáním nití vzniká plošná textilie.

Je zřejmé, že vlastnosti vyššího textilního útvaru jsou určeny vlastnostmi nejbližšího nižšího útvaru. Konstrukce nových druhů tkanin se musejí tvořit na skutečně vědeckých základech, aby se již při jejich navrhování vycházelo z moderních poznatků geometrie nití a tkanin, při současném zabezpečení co nejvyšší efektivity výroby.

V poslední době v neustálé vyšším zájmu jsou nové druhy hedvábných tkanin (vyrobených z multifilu). Vypracovat teorii geometrie multifilu je mnohem složitější, protože multifil se chová ve tkanině podstatně jinak, než příze staplová. Při výrobě plošné textilie dochází k deformaci nití, v modelech se pro jednoduchost předpokládá geometrie „volné“ nitě. Při výrobě tkaniny je multifil vystaven namáhání (ohybovému, torznímu, tlakovému a tahovému), které vede ke změně jeho struktury. Původně kruhový průměr se zplošťuje.

Cíl:

- Příspěvek k modelování struktury multifilu
- Rozbor vlivů, které působí na deformace multifilu ve tkanině

Rešeršní část

Definice textilních délkových útvarů

Příze označuje B. Neckář [1] jako útvar s optimálním kompromisem mezi požadavky na poróznost, měkkost a objemnost na jedné straně a požadavky na trvanlivost i zpracovatelské požadavky na mechanické vlastnosti na straně druhé. Příze je tvořena pomocí spřadatelných vláken, která musí být vzájemně propojena.

Multifil, na rozdíl od příze, je textilní délkový útvar ze svazku jednotlivých nekonečných vláken. Jednotlivá nekonečná vlákna jsou družena nebo zpevněná zákrutem.

Staplové příze i multifil jsou někdy souhrnně označovány názvem – nit.

Charakteristika základních parametrů délkové textilie

Délkové textilie jsou popisované pomocí těchto základních veličin:

jemnost T [tex]

průměr D [mm]

zákrut Z [m⁻¹]

zaplnění μ [1].

Jemnost

U multifilu, stejně jako u příze, jemnost T se vyjadřuje lineární hmotností, tj. jemnost je vztah mezi hmotností m a délkou multifilu l . Pro vyjádření jemnosti používáme soustavy *tex*.

$$T = m/l = V\rho/l = Sl\rho/l = S\rho, \quad (1)$$

V objem, ρ měrná hmotnost, S plocha příčného řezu multifilu. Z rovnice (1) je vidět, že jemnost závisí na hustotě vlákenného materiálu a ploše příčného řezu vlákenného útvaru.

Průměr „volné“ niti

Jelikož tvar radiálního řezu svazkem vláken se nejvíce blíží kruhovému průřezu, je tento příčný rozměr označován jako průměr [3]. Průměr multifilu nelze objektivně změřit

mechanickými měřidly, proto bylo zavedeno jeho nepřímé určování výpočtem. Ve vztazích pro výpočet není zahrnut vliv radiální struktury a napnutí při kroucení.

Jestliže si představíme, že nit má tvar homogenního válce, tj. všechna vlákna jsou stlačena tak, že mezi nimi se nevyskytují žádné vzduchové mezery, tak potom její rozměr v radiálním řezu tvoří průměr. V takovém případě je to veličina limitní. Ze vzorku (1) vyplývá

$$T = S\rho = \pi D_s^2 \rho / 4, \quad (2)$$

$$D_s = \sqrt{4S / \pi} = \sqrt{4T / \pi \rho}, \quad (3)$$

kde je D_s substanční průměr, S substanční průřez niti.

Ve skutečnosti multifil není stejnorodým homogenním válcem, protože mezi vlákny jsou vzduchové mezery. Hustota stěsnání vláken je v průřezu nerovnoměrná, směrem k povrchu přechází spojitě do oblasti chlupatosti, a řez multifilu ne vždy je osově symetrický. Neexistuje jednoznačná definice průměru. Obvykle se vychází z průměru nejmenšího myšleného válce, v němž je soustředěna veškerá hmota délkového útvaru, nebo alespoň její podstatná část.

$$D = \sqrt{4T / \pi \mu \rho}, \quad (4)$$

kde D je průměr multifilu, μ je zaplnění.

Zaplnění

Zaplnění je veličina vyjadřující podíl z celkového prostoru útvaru, který je vyplněn vlákny [2]. Takto lze definovat zaplnění objemové nebo plošné

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{S}{S_c}, \quad (5)$$

V je objem vláken, V_c celkový objem útvaru, S substanční plocha průřezu, S_c celková plocha řezu tvarem.

U délkové textilie průměr D je vždy větší než substanční průměr D_s . Poměr D_s/D je bezrozměrnou veličinou, ležící v intervalu $\langle 0;1 \rangle$. Tato veličina charakterizuje vztah průměru vlákenného útvaru k jeho jemnosti. Pokud tento poměr přidáme do druhé mocniny vyjde

$$D_s^2 / D^2 = 4S / (\pi D^2), \quad (6)$$

z toho vzorce se dostaneme k

$$\mu = 4T / \pi \rho D^2. \quad (7)$$

Uspořádání vláken v průřezu multifilu velice dobře vystihuje představa *válcové struktury* [1]. Vlákná tvoří kruhové vrstvy, můžeme předpokládat, že v každé z nich je obsažen maximálně umístitelný počet vláken. Tvoří-li první vrstva jediné vlákno (osa svazku je totožná s osou středového vlákna), hovoříme o kruhové radiální struktuře se středovým vláknem. Jsou-li kruhové vrstvy uspořádání s osou v ose svazku a hovoříme o kruhové radiální struktuře bez středového vlákna, pak se konfigurace vláken blíží čtvercovému uspořádání. Tato čtvercová struktura má ve středu nejvíce vzduchových mezer.

Multifil má již při minimálních dostředivých silách tendenci zaujímat maximálně uspořádanou strukturu, proto se pro výpočet průměru multifilu doporučuje použít hodnotu zaplnění odvozenou z limitního zaplnění válcové struktury $\mu_m=0,7$ [2]. Tato hodnota byla potvrzená experimentálně.

Zákrut

Zákrutem Z [1], rozumíme zakroucení vláken ve směru šroubovice kolem osy niti vyjádřené počtem celých otáček na délku 1m. Pomocí krutného ústroje se do vlákenné soustavy vkládá N otáček za jednotku času, současně je hotová nit odtahována rychlostí v

$$Z = N/v. \quad (8)$$

Zakroucení vlákenného materiálu lze vyjádřit pomocí bezrozměrných veličin, a to pomocí zákrutového koeficientu:

Köchlinův zákrutový koeficient α – se používá u přástu a hrubších přízí

$$\alpha = Z\sqrt{T}, \quad (9)$$

Phrinxův zákrutový koeficient am – se používá u příze jemnější

$$am = ZT^{2/3}, \quad (10)$$

Pro provedení analýzy vlivu struktury, zákrutu a napnutí při kroucení na průměr multifilu byly přijaty tyto předpoklady [3]:

- průměr multifilu definujeme jako průměr opsané kružnice se středem v ose svazku;
- multifil definujeme jako množinu nejméně 4 nekonečných, prostorově paralelně uložených vláken stejného druhu a modifikace a stejného průřezu;
- elementární vlákna multifilu jsou v radiálním řezu uspořádána v kruhových radiálních vrstvách se středem buď v ose osového vlákna („kruhová radiální struktura s osovým vláknem“) nebo v ose multifilu („kruhová radiální struktura bez osového vlákna“);
- průměr elementárních vláken se vlivem zakroucení nemění a přírůstek vláknenné plochy v důsledku jejich zešíkmení jde plně na úkor koeficientu zaplnění multifilu;
- účinkem radiálních sil působících v zakrouceném multifilu dochází k jeho radiálnímu stlačení a k příčné deformaci průřezu elementárních vláken;
- dle J. Marka [5] lze předpokládat, že průměr multifilu je funkcí napnutí při kroucení a fyzikálně-mechanických vlastností vláken.

Seskání

V procese zakrucování se svazek nekonečných vláken bude podélně zkracovat. Toto zkracování se nazývá *seskání s*.

Hodnotu seskání krouceného svazku velmi významně ovlivňují mechanické a geometrické vlastnosti elementárních vláken a vnější podmínky při kroucení, jmenovitě napnutí [3]

$$s = \frac{l_0 - l}{l_0} = 1 - \Delta l, \quad (11)$$

kde s je seskání, l_0 upínací délka, a l je délka po zakroucení.

Síly způsobující deformace nitě

V této kapitole se především budeme zabývat vlivem takových sil jako *tah*, *krut* (torze), *ohyb*, *tlak* kolmý k ose niti, a jejich kombinaci na příčné rozměry délkového

útvary. Tyto mechanismy se projevují v deformacích jak v příčném řezu, tak v podélném pohledu (např. vazná vlna).

Tahové namáhání

Nit bývá nejčastěji namáhána vnějšími tahovými silami, působícími ve směru její osy. Hovoří se o *jednoosém tahovém namáhání*. V tahové síle svazku se však uplatňují také příčné síly mezi vlákny, působící v kolmých směrech k jejich osám. Ale v literatuře B. Neckáře [1] se uvádí, že přínos příčných sil do celkové tahové síly v útvaru je zanedbatelně malý.

Ohybové namáhání

Druhou příčinou deformace průřezu je ohyb nitě. Vlivem zakřivení vzniká na vnější polovině průřezu *tahové* a na dolní *tlakové* axiální napětí, které vede ke vzniku radiálního napětí působícího směrem k vodorovné ose průřezu niti. Toto napětí deformuje původně kruhový průřez [6].

Torze

K ohybové deformaci dochází i uvnitř vlákenného útvaru. Jednotlivá vlákna jsou v zakrouceném svazku různým způsobem prostorově zakřivená a osově prodloužená. Tyto deformace, které tímto způsobem vznikají, se projeví formou krutného momentu ve vlákenném svazku. *Krutný moment* vede k vzájemnému *pootočení průřezu* vlákna vůči jeho vlastní ose. Vznikne také *ohybová deformace* vlákna, doprovázená jistým *ohybovým momentem* vlákna. Ve vlákne působí i vektor *tahové síly* P . Ale dle [1] lze předpokládat, že vliv ohybových a krutných momentů ve vláknech na celkový krutný moment útvaru lze zanedbat. Proces tvorby (a především v závěru procesů stojící zakrucování) příze a multifilu se v podstatné míře odlišují. Tím pádem se odlišuje i struktura a vztah mezi jemností, zákrutem a průměrem. Obecně lze předpokládat, že zákrut vyvoluje dostředné tlaky v přízi.

Pro staplové příze existuje mezi jemností, zákrutem a průměrem vzájemné přiřazení. Hrubší příze, obsahující větší množství vláken v příčném řezu, budou mít větší

průměr než příze jemnější. Když se zvýší zákrut, jsou ovšem vlákna více stlačována dostředivými tlaky, a tím se průměr zmenšuje.

U multifilu převládá představa (podložená experimenty [5]), že již při malém zákrutu zaujímají fibrily v průřezu volného multifilu vhodnou pozici, s maximálním zaplněním 0,7. Ve většině teoretických modelů krouceného multifilu se rovněž vychází z předpokladu, že průměr je konstantní nezávisle na míře zákrutu.

Tlakové namáhání

Ve vlákenném útvaru dochází ke kontaktům mezi vlákny. Tady budou uvedené základní myšlenky modelu zobecněné závislosti tlaku na zaplnění dle [1] a [7]. Uvažuje se změna počtu kontaktů v závislosti na působící síle.

Model závislosti tlaku na zaplnění (dle van Wyka) při „jednodimenzionálním“ stlačování (tj. je sledováno chování materiálu při působení tlaku pouze v jednom směru) byl tvořen pomocí výchozích předpokladů [2]:

- je modelováno stlačování paralelních vláken v dokonale tuhé krabici (boxu), která je naplněna nestlačeným vlákenným materiálem s výchozím zaplněním μ_0 . Ve směru jedné osy působí **tlak** p , kterým je vlákenný útvar stlačován;
- textilní vlákenný útvar lze považovat za transversálně izotropní;
- odezva materiálu na stačování se promítá pouze v protisměru namáhání; tlak v ostatních směrech není uvažován;
- odpor vůči stlačování způsobuje ohybová deformace;
- vlákno lze považovat za nekonečný, pravidelně zatížený, pravidelně podepřený, štíhlý nosník;
- probíhá prostý rovinný ohyb, platí Hookův zákon, deformace jsou malé;
- smykové a třecí síly jsou zanedbány;
- délka ohybové čáry je shodná se střední délkou vláken mezi sousedními kontakty;
- stlačováním vlákenného materiálu se hustota pravděpodobnosti směrového uspořádání vláken nemění;
- objem a délka vláken se při stlačování nemění;

- systém je konzervativní, tj. přírůstek deformační energie je úměrný vykonané práci.

Na základě předpokladů byl odvozen vztah

$$p = k_p \mu^3, \quad (12)$$

kde k_p je konstanta, která shrnuje vliv geometrie a směrového rozložení vláken. Ale i při nulovém tlaku existuje jisté zaplnění μ_0 , proto byla zavedena empirická korekce

$$p = k_p (\mu^3 - \mu_0^3). \quad (13)$$

Dle výpočtu (13) se připouští růst zaplnění nad hodnotu 1. Tenhle jev může objasnit existence nestlačitelných oblastí tzv. *granulí*. Proto byla zavedena další korekce.

Předpokladem je, že se deformabilní objem zmenšuje (v místě jednoho kontaktu nemůže vzniknout další, není možný prostup vláken, nelze vytlačit všechnen vzduch...). Korekce je založena na předpokladech [2]:

- předchozí odvození neplatí na celé objemy, ale pouze na jejich deformabilní oblasti;
- počet granulí je roven počtu kontaktů;
- objem granulí je úměrný zaplnění;
- v mezním stavu při maximálním stlačení granule zaplní celý objem textilního vláknenného útvaru;
- granule má mezní zaplnění a to nejen při maximálním stlačení, ale i v libovolném stavu.

Z tohoto modelu je odvozená komprimační hypotéza [1], která řeší vztah mezi průměrem, jemností a zákrutem staplových přízí. Teorie je postavena na základě učení dostředného tlaku vyvozeného zákrutem. Teorie vychází z těchto předpokladů [2]:

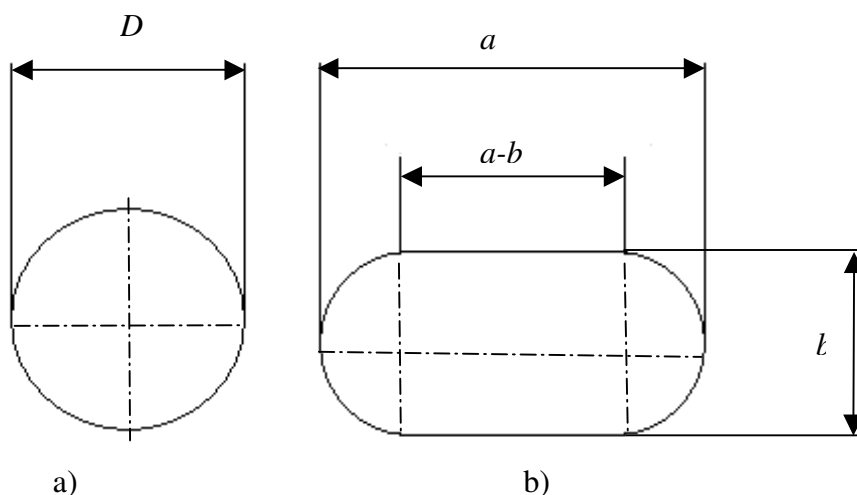
- uspořádání vláken v přízi lze popsat šroubovicovým modelem;
- vlákna jsou v přízi stlačována jako důsledek zákrutu;
- stlačování vyvozuje pouze vnější vrstva vláken, tloušťka stlačovací vrstvy je pro příze stejného materiálu, technologie a účelu použití konstantní;
- pro příze stejného materiálu, technologie a účelu je napětí vyvozené touto vrstvou konstantní;
- napětí lze vyjádřit na základě závislosti tlaku a zaplnění (zobecněná teorie van Wyka [7]).

Proto, abychom mohli použít tuto teorii je zapotřebí znát materiálové charakteristiky, nebo přesně určit parametry přízí.

Zaplnění multifilu nelze stanovit pomocí komprimační teorie, neboť nejsou stanoveny základní materiálové a technologické konstanty [4]. Vliv tahových, tlakových, ohybových a torzních sil na deformace příčného rozměru multifilu bude experimentálně zjištěn v experimentální části této práce.

Geometrický model příčné deformace délkové textilie

Jeden z modelů deformace příčného řezu délkové textilie vychází ze stlačování nitě mezi dvěma tuhými rovnoběžnými deskami [2]. Při působení axiálních sil kolmých k ose niti, dochází k posunutí jednotlivých vláken, a tím k příčné deformaci útvaru. Původní kruhový průřez nitě (obr.1a) se mění na tvar uvedený na obrázku (obr.1b). Vláknenný útvar výchozího průměru D se působením stlačujících sil zdeformuje tak, že obrys jeho příčného řezu má tloušťku b a šířku a . Zjednodušeně lze hovořit o obrysu ohraničeném dvěma polokružnicemi o průměru b a dvěma úsečkami délky $a-b$, tzv. Kempův průřez (ovál).



Obr. 1: Geometrie příčného řezu I

a) řez volné niti, b) Kempův průřez (ovál), D průměr nitě, a šířka nitě, b výška nitě

Platí pro něj následující vztahy:

poměrné rozšíření α

$$\alpha = \frac{a}{D} , \quad (14)$$

poměrné stlačení β

$$\beta = \frac{b}{D}, \quad (15)$$

relativní stlačení ε_1

$$\varepsilon_1 = \frac{b-D}{D} = \beta - 1, \quad (16)$$

relativní rozšíření ε_2

$$\varepsilon_2 = \frac{a-D}{D} = \alpha - 1, \quad (17)$$

poměrné zploštění e

$$e = \frac{b}{a} = \frac{\varepsilon_1 + 1}{\varepsilon_2 + 1}, \quad (18)$$

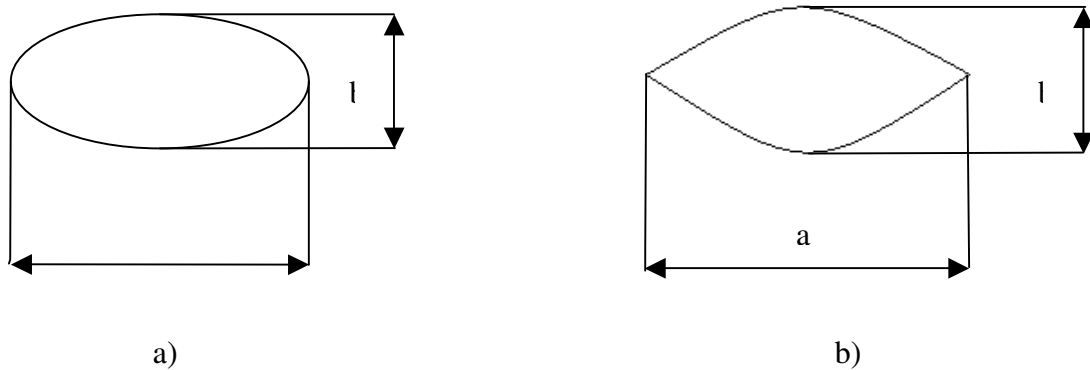
plocha zdeformovaného řezu $S_{kemp.}$

$$S_{Kemp.} = \frac{\pi b^2}{4} + b(a-b), \quad (19a)$$

obvod zdeformovaného řezu

$$L_{Kemp.} = \pi b + 2(a-b). \quad (20a)$$

Často je též tvar příčného řezu niti ve tkanině aproximován elipsou nebo čočkou.



Obr. 2: Geometrie příčného řezu II

a) elipsa, b) čočka

U těchto zdeformovaných řezu se také dá spočítat plocha S a obvod L :

elipsa

$$S_{elipsa} = \frac{\pi ab}{4}, \quad (19b)$$

$$L_{elipsa} = 2\pi\sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}, \quad (20b)$$

čočka

$$S_{čočka} = \sqrt{a^2 + \frac{4}{3}b^2} \left(\frac{a^2 + b^2}{4b} \right) - a \left(\frac{a^2 - b^2}{4b} \right), \quad (19c)$$

$$L_{čočka} = 2\sqrt{a^2 + \frac{4}{3}b^2}. \quad (20c)$$

Geometrické hypotézy

Z ryze geometrických představ vycházejí dvě alternativní hypotézy, které bývají navrhovány pro vyjádření vztahu mezi parametry příčného řezu před a po deformaci [2].

1) Hypotéza o zachování plochy – předpokládáme, že se plocha příčného řezu původní nestlačené nití s deformací nemění. Pak platí:

$$S = \frac{\pi D}{4} = S_{deformované\ příze}. \quad (21)$$

Po dosazení získáme závislost mezi poměrnou šířkou a poměrnou výškou:

ovál
$$\alpha = \frac{\pi - \beta^2(\pi - 4)}{4\beta}, \quad (22a)$$

elipsa
$$\alpha = \frac{1}{\beta}, \quad (22b)$$

čočka
$$\sqrt{\alpha^2 + \frac{4}{3}\beta^2}(\alpha^2 + \beta^2) - \alpha(\alpha^2 - \beta^2) - \pi\beta = 0, \quad (22c)$$

respektive mezi relativním rozšířením a relativním stlačením:

ovál
$$\varepsilon_2 = \frac{(\varepsilon_1^2(1 - \pi/4) + \varepsilon_1(1 - \pi/2))}{(\varepsilon_1 + 1)}, \quad (23a)$$

elipsa
$$\varepsilon_2 = -\frac{\varepsilon_1}{(\varepsilon_1 + 1)}. \quad (23b)$$

Pro čožku nelze relativní rozšíření ze vztahu (22c) explicitně vyjádřit, rovnice byla řešena numericky a body interpolovány funkcí v intervalu relativního stlačení $\langle -0,7;0 \rangle$:

$$\text{čočka} \quad \varepsilon_2 = \frac{1,11}{(\varepsilon_1 + 1)^{1,06} - 1}. \quad (23c)$$

2) Hypotéza o zachování obvodu, kdy předpokládáme, že se obvod příčného řezu původní nestlačené příze s deformací nemění. Pak platí:

$$L = \pi D = L_{\text{deformované příze}}. \quad (24)$$

Po dosazení získáme závislost mezi poměrnou šířkou a poměrnou výškou:

$$\text{ovál} \quad \alpha = \frac{\pi - \beta(\pi - 2)}{2}, \quad (25a)$$

$$\text{elipsa} \quad \alpha = \sqrt{2 - \beta^2}, \quad (25b)$$

$$\text{čočka} \quad \alpha = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \frac{4}{3}\beta^2}, \quad (25c)$$

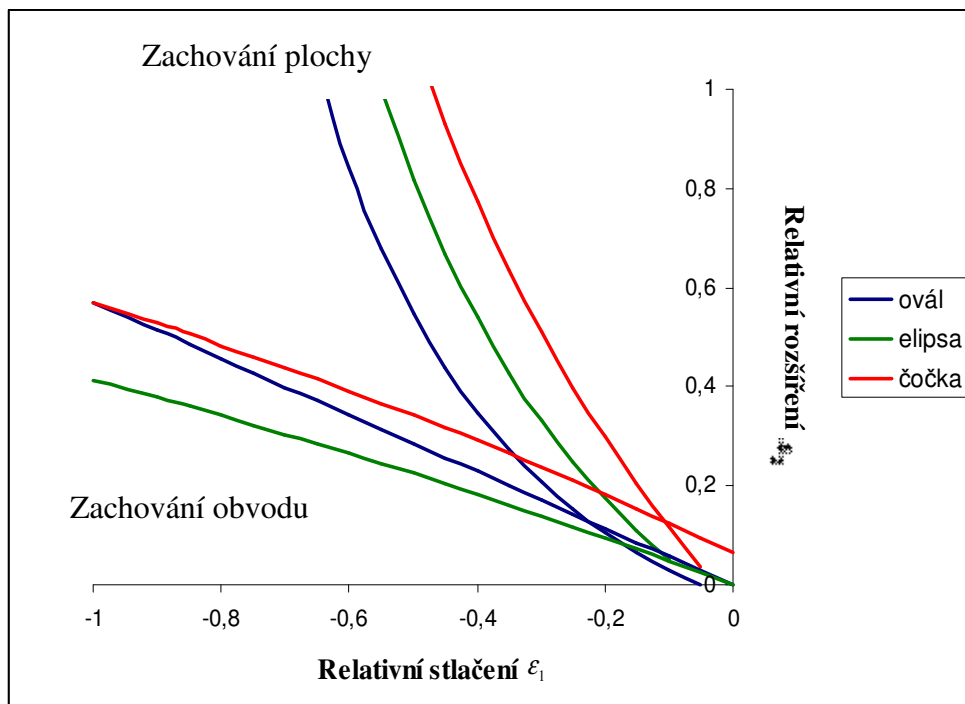
respektive mezi relativním rozšířením a relativním stlačením:

$$\text{ovál} \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_1(1 - \pi/2), \quad (26a)$$

$$\text{elipsa} \quad \varepsilon_2 = \sqrt{2 - (\varepsilon_1 + 1)^2} - 1, \quad (26b)$$

$$\text{čočka} \quad \varepsilon_2 = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \frac{4}{3}(\varepsilon_1 + 1)^2} - 1. \quad (26c)$$

Vztahy mezi relativním rozšířením a relativním stlačením (23a, b, c), (26a, b, c) jsou znázorněny na obr. 3. Dle [1] při malých deformacích je průběh obou křivek téměř shodný, při větších deformacích se objevují značné rozdíly.



Obr. 3: Geometrické hypotézy o deformaci příčného řezu nití

Zhodnocení obou alternativních hypotéz vzhledem ke strukturním závislostem nití vychází z předpokladu, že příčný řez volné (nezatížené) nití je kruhový. Kruh je rovinný útvar, který má za shodného obsahu s jinými útvary nejmenší obvod a při shodném obvodu největší plochu.

Jestliže přijmeme první hypotézu o neměnicí se ploše příčného řezu, pak musí růst obvod deformovaného řezu, minimálně jen proto, že se původně kruhový řez změnil v jiný prostorový útvar. Také lze předpokládat, že změny v obvodu příčných řezů nejsou zapříčiněny jen změnou průřezu, ale i uvolněním dostředných sil, které jsou vyvozovány přibližně šroubovicovou strukturou uspořádání vláken. Tato hypotéza dále naznačuje, že se při deformaci nití nemění objem mezivláknenných pórů, tím neroste ani zaplnění.

V případě druhé hypotézy o neměnicím se obvodu příčného řezu útvaru musí u zdeformovaného řezu plocha klesat. Odtud plyne, že musí růst zaplnění, tj. dochází ke zmenšení mezivláknenných pórů a zvětšení počtu kontaktů mezi vlákny. Tím dojde k destrukci celé původní struktury délkové textilie [2].

Experimentální část

Experimenty popsané v této kapitole jsou zaměřeny především na hodnocení geometrických parametrů multifilu (chování multifilu při různých typech namáhání). Byly prozkoumány dostupné metodiky zjišťování deformace nití v příčném řezu a jako optimální byla vybrána metoda stlačování mezi rovnoběžnými deskami.

Popis vzorků

V experimentu prováděném v rámci této práce byly použity tyto materiály:

- polyesterové hedvábí PES o jemnosti 16,7 tex
- polypropylenové hedvábí POP o jemnosti 209 tex

Mechanické parametry používaného materiálu mají vliv na vlastnosti produktu tvořeného z tohoto materiálu.

Vlákna polyesterová

Pevnost: 3.8 - 7.2 cN/dtex

Tažnost: 50 - 70%

PES vlákna mají vysokou měrnou hmotnost $\rho=1360\text{kg/m}^3$.

Vlákna polypropylenová

Pevnost 1.5 – 6 (vysoce pevná 10) cN/dtex

Tažnost: 15 – 60%

Výhodou POP vláken je nízká měrná hmotnost $\rho=910\text{kg/m}^3$, jejich nevýhodou je malá tuhost.

Metody zjišťování deformace multifilu

V této kapitole jsou popsány především původní metody zjišťování deformace multifilu, které byly vyvinuty v souvislosti s řešením této práce, nebo prací souvisejících.

Přímé měření deformace multifilu ve vazném bodě tkaniny z příčných řezů

Pro přímé experimentální zjišťování deformace nití ve vazném bodě relaxované tkaniny se používá metoda analýzy příčných řezů vaznou vlnou tkaniny a příčných řezů vazným bodem tkaniny připravené metodou „měkkých“ řezů.

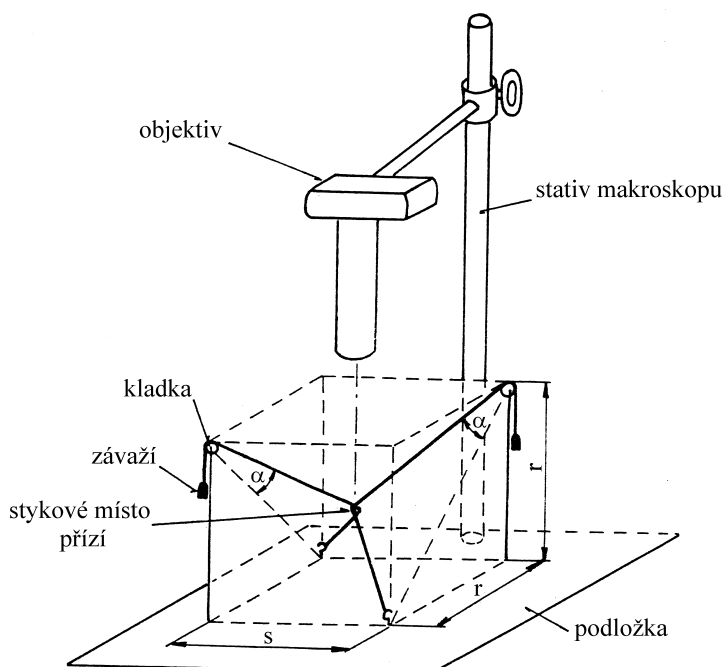
Přímé zjišťování deformace nití touto metodou je možné pouze pro případy relaxované tkaniny. Tkaniny vystavené namáhání není možno zafixovat v zatíženém stavu, protože zalévací media, která jsou pružná a transparentní a tudíž vhodná pro zhotovení ultratenkých řezů nejsou dostatečně tvrdá, aby udržela napětí ve tkanině a po odstranění zatěžovacích sil zabránila relaxaci tkaniny [3].

Studium zplošťování multifilu ve vazném bodě tkaniny

Experimenty se zabývají deformačními závislostmi příčného řezu multifilu – modelováním silového namáhání nití ve vazných bodech.

Modelování vazného bodu křížením

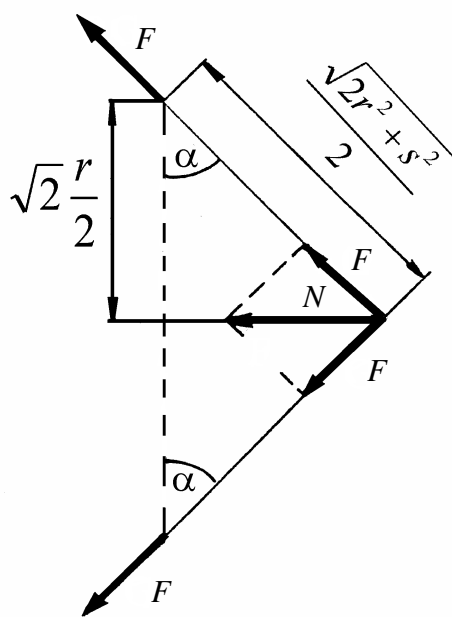
Metodika zjišťování deformace nitě ve vazném bodě tkaniny byla navržena na základě [8], a je prováděna pomocí experimentálního uspořádání schematicky znázorněného na obr. 4.



Obr. 4: Metoda měření zploštění nití ve vazném bodě

Na podložce makroskopu je umístěno duté těleso tvaru pravoúhlého hranolu o rozměrech stran s , r , r , které má ve dvou protilehlých rozích na horní základně umístěny malé kladky (jejich hmotnost je zanedbatelně malá) a pohybující se se zanedbatelně malým

třením. Ve dvou protilehlých rozích na dolní základně hranolu jsou upevněné dvě nití a vedeny přes kladky způsobem zřejmým z obr. 5. Na jejich konce jsou zavěšena stejná závaží. Nítě se překříží přesně v geometrickém středu hranolu. Pokud zanedbáme tloušťku nití, pak jejich neutrální osy mají směr tělesových úhlopříček hranolu. Obě nitě leží v navzájem kolmých rovinách. Síly způsobené vahou závaží se přenášejí přes kladky a ve směru neutrální osy obou nití bude působit stejně velká tahová síla. Za předpokladu, že smykové tření působící mezi nitěmi v místě jejich vzájemného překřížení zanedbatelně malé, přenesou se tahové síly v nitích prakticky beze změny velikosti i do částí nití pod místem překřížení. V místech upevnění spodních konců nití na tahové síly vzniknou reakční stejně velké síly opačného směru, takže situace je ekvivalentní případu, kdy by byly nitě v rozích základny vedeny přes kladky a napínány stejně velkými závažími. Silové a geometrické poměry u obou nití budou stejné. Poměry pro jednu nit jsou znázorněny na obr. 5.



Obr. 5: Silový a geometrický rozbor nitě upevněné v přípravku, N - výsledná síla, F - tahová síla v nitě, α - úhel překřížení, r , s - rozměry hranolu

Pro výpočet síly N lze odvodit následující vztah

$$N = \frac{2F \cdot s}{\sqrt{2r^2 + s^2}}, \quad (27)$$

pro úhel překřížení nití platí

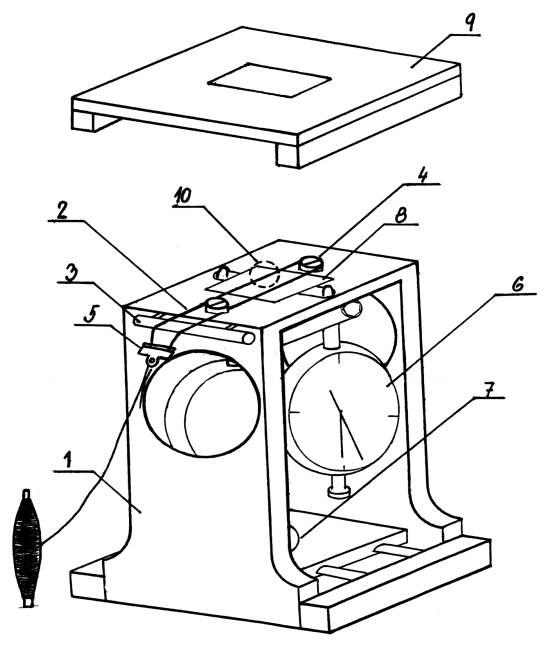
$$\alpha = \arccos \frac{\sqrt{2} \cdot r}{\sqrt{2r^2 + s^2}}. \quad (28)$$

Normálová síla způsobuje deformaci nití. Z geometrie experimentu dále vyplývá, že při pohledu ze směru normály k podložce je možno překřížení nití snímat objektivem makroskopu a dosáhnout až několikanásobného zvětšení.

V tomto typu experimentu lze získat pouze data charakterizující šířku nití, kolmý rozměr nelze měřit, proto bylo rozhodnuto se tomuto typu experimentů dále nevěnovat.

Stlačování nití mezi dvěma rovnoběžnými deskami

Zplošťování nitě v závislosti na velikosti zatěžovací tahové síly bývá zkoumáno experimentem stlačování nitě mezi dvěma rovnoběžnými deskami, kdy je příčný řez nitě namáhán dvěma protilehlými stejnými silami kolmými k ose [9]. Pro tuto metodiku měření, byl navržen přípravek, který je znázorněn na obr. 6.



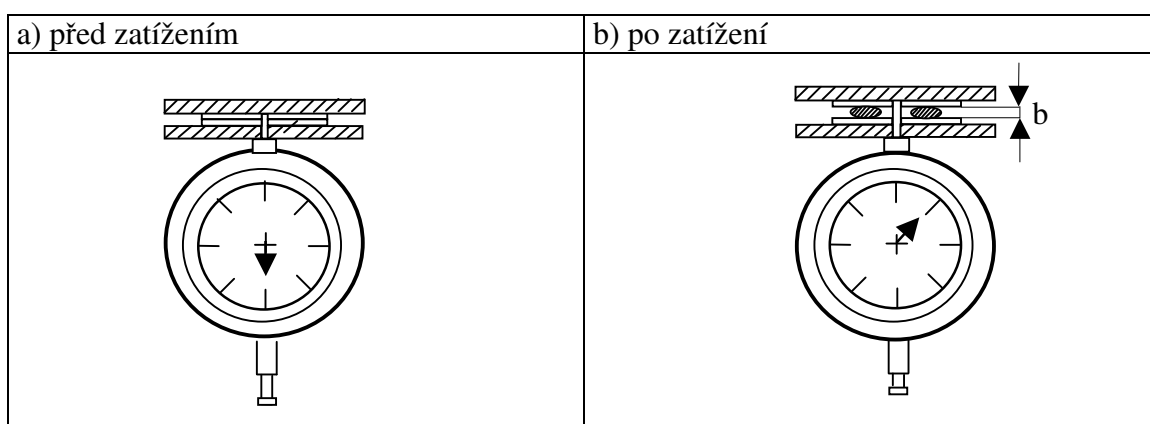
Obr. 6: Přípravek pro stlačování nitě, 1 - stojan, 2 - nit, 3 - vodící hranolek, 4 - brzdička, 5 - předpětí, 6 - indikátorové hodinky, 7 - spodní osvit, 8 - spodní sklíčko s kalibrační stupnicí, 9 - odnímatelná deska s horním sklíčkem, 10 - měřicí zóna

Stojan přístroje je umístěn pod makroskopem. Nit je vedena přes hladký hranolek a brzdičku do jeho zorného pole a zatíží se definovaným předpětím. Multifil je umístěn na podložním sklíčku s kalibrační stupnicí 7 mezi vyčnívajícími hroty indikátorových

hodinek. Pod podložním sklíčkem je umístěno spodní osvětlení. Kamerou umístěnou na makroskopu je multifil snímán a pomocí programu LUCIA G se měří charakteristický rozměr a . Charakteristický rozměr b se měří současně pomocí dvou indikátorových hodinek, znázorněných na obr. 7.

Výpočet charakteristického rozměru b

Zatížení niti je vyvozeno pomocí snímatelné horní desky, na které je připevněno horní sklíčko. Horní deska zatěžuje hroty indikátorových hodinek, a pokud v přípravku není vložen multifil, ukazuje ručička na stupnici maximální hodnotu, tj. předpětí indikátorových hodinek. Po vložení multifilu a jeho zatížení ukazuje ručička na stupnici menší hodnotu, dojde k odlehčení indikátorových hodinek a rozdíl hodnot je charakteristickým rozměrem b . V zorném poli jsou navedeny dva úseky multifilu, měření probíhá v zóně 10. Nestejnoměrnost niti způsobí mírnou nerovnoběžnost desek, která vede k různým hodnotám na stupnicích hodinek. Prozatím je tato nepřesnost zanedbána a rozměr b je odečítán jako průměrná hodnota z hodnot odečtených na stupnici obou indikátorových hodinek.



Obr. 7: Měření na indikátorových hodinkách

Horní desku lze kombinovat s dalšími segmenty různé hmotnosti, a tak nastavovat potřebné zatížení.

Vlastní měření

Materiál, na kterém bylo provedeno měření, byl už popsán a kapitole 3.1 Pro ověření předpokladu, že průměr multifilu podstatně ovlivňuje axiální tahová síla [5], byl nejprve multifil zakroucen na laboratorním zákrutoměru a to v rozsahu $0, 250$ a 600m^{-1} . Zatížení ve směru osy bylo dosaženo pomocí závaží zavěšeného na konci zakrucovaného

multifilu o hmotnosti 0,003 a 0,053kg. Dále bylo zjišťováno zploštění způsobené radiální silou (normálové zatížení), která byla vyvozená deskami pokládanými na multifil. Hmotnost desek byla 0,5, 1 a 2kg.

Lze předpokládat, že v zakrouceném a zatíženém multifilu se uvažuje o působení tří sil. Dostředivá síla F_z , která je způsobena zakroucením a působí převážně uvnitř zakrouceného útvaru. Síla F_a , která je vyvozena axiálním napínáním, jež vzniká natahováním v důsledku předpětí. F_r – radiální síla, kterou způsobuje příčné stlačení deskami. Při měření byly zanedbány reologické děje, tření mezi vlákny a deformace vláken.

Postup měření

V prvním kroku experimentu byl při daném předpětí multifilu udělen zákrut. Zakroucený multifil byl pomocí speciální pomůcky přenesen do přípravku na stlačování. Pomůcky byly použity proto, aby nedošlo ke změně zákrutu multifilu při přenášení. Dále byl v přípravku na stlačování multifil veden přes hladký hranol a brzdičku, jak bylo popsáno v kapitole 3.2.2.2. Pomocí svorky bylo na volném konci multifilu připevněno závaží. Toto závaží vyvolalo u multifilu axiální sílu. Na začátku měření bylo nutné provést kalibraci použitého zvětšení a to za pomoci měřítka umístěného na podložním sklíčku u přípravku na stlačování. Na makroskopu byla použita čočka se zvětšením 1,5x.

Přípravek na stlačování byl umístěn pod makroskop, a byl změřen průměr volného multifilu D . Následovně byla přiložena horní odnímatelná deska se sklíčkem, která dál byla zatěžována přídatnými deskami. Při každém zatížení byla současně z indikátorových hodin odečtena hodnota, z níž bylo následovně vypočteno stlačení b , a měřeno rozšíření a .

Každé měření se provádělo 25x. Po konstatování, že naměřená data pocházejí z normálního rozdělení, byly u naměřených hodnot vypočítány statistické ukazatele: střední hodnota (aritmetický průměr), směrodatná odchylka, konfidence (95% IS).

Použitá zatížení se dle vzorce (29) dají přepočítat na síly vyvozené v multifilu. Za gravitační zrychlení byla dosazena konstanta $g=9,81\text{ms}^{-1}$, zaokrouhlena na 10ms^{-1} .

$$F = mg , \quad (29)$$

kde F je síla vyvozená v multifilu, m hmotnost závaží, g gravitační zrychlení.

- síly vyvozené radiálním zatížením:

Hmotnost použité desky

Vyvozená síla F_r

0,5 kg

5 N

1 kg

10 N

2 kg

20 N

- síly vyvozené axiálním zatížením:

skutečná síla v měřeném úseku multifilu je poloviční, jelikož závaží drželo oba konce multifilu vedeného přes brzdičku. Síla vyvozená od zavěšeného závaží se rovnoměrně rozložila do obou částí multifilu vedeného přes brzdičku.

Hmotnost použitého závaží

Vyvozená síla F_a

Skutečná síla F_a

0,003 kg

0,03 N \approx 0 N

0 N

0,053 kg

0,053 N \approx 0,5 N

0,25 N

Protože v experimentu byly kombinovány různé typy a velikosti namáhání, byla pro lepší přehlednost sestavená tabulka 1.

	POP (209 tex) a PES (16,7 tex)																	
Z [m ⁻¹]	0						250						600					
F _r [N]	5		10		20		5		10		20		5		10		20	
F _a [N]	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25	0	0,25

Tabulka 1: Kombinace zákrutu, axiální a radiální síly

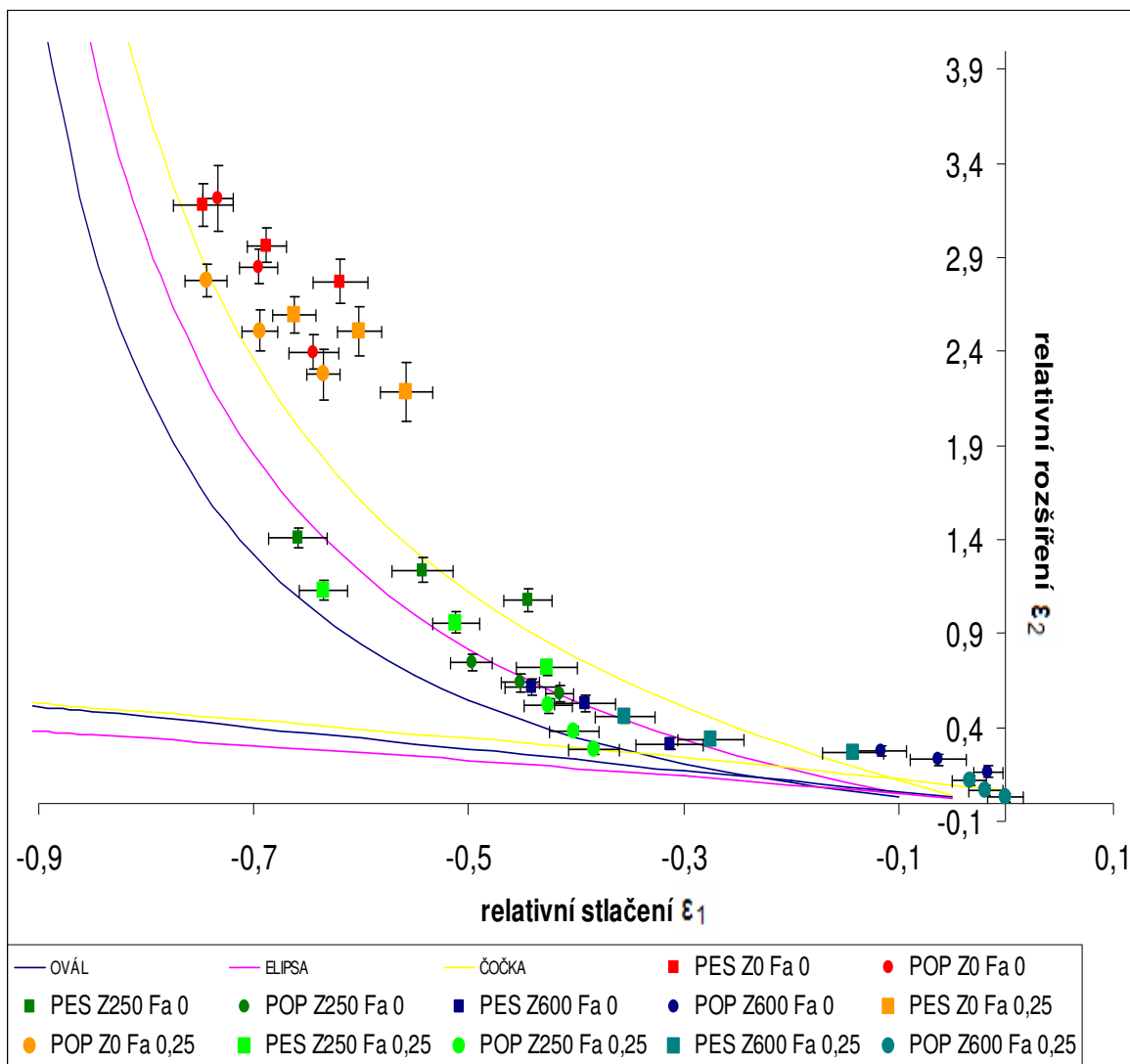
Z naměřených dat šířek a výšek niti byly vypočteny parametry, *relativní rozšíření* ε_2 a *relativní stlačení* ε_1 , dle vzorců (16), (17), kde za D byl použit teoreticky vypočtený průměr (4), s dosazením zaplnění $\mu=0,7$ a měrnou hmotnost PES $\rho=1360\text{kg/m}^3$, POP $\rho=910\text{kg/m}^3$.

$$D_{PES} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} * 1000 = 149,45 \text{ } [\mu\text{m}]$$

$$D_{POP} = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} * 1000 = 646,34 \text{ } [\mu\text{m}]$$

Diskuse

Závislost $\varepsilon_2 = f(\varepsilon_1)$ je znázorněna v grafu na obrázku 8. V grafu byla vynesena hodnota konfidence pro statistické porovnání hodnot, také jsou zde vyznačeny alternativní hypotézy o zachování plochy a obvodu.



Obr. 8: Závislost relativního rozšíření na relativním stlačení

Na základě tohoto grafického znázornění lze vyvodit několik závěrů:

1. vliv F_r (přítlačná síla)

- se zvětšením radiální síly se zvětšuje hodnota ε_1 a ε_2 , velikost chybových úseků IS závisí na velikosti přítlačné síly. Podrobnější znázornění je v příloze II na obrázku.

2. vliv F_a a Z (tahová síla v ose a zákrut)

- lze hodnotit společně

- s vzrůstající axiální silou se při ostatních stejných parametrech (materiál, zákrut, radiální síla) statisticky významně mění ϵ_2 , a ϵ_1 se mění v různých případech jinak. Podrobnější znázornění je na obrázku v příloze II.
- zvlášť lze hodnotit materiál bez zákrutu, se zákrutem 250m^{-1} a 600m^{-1} ;
- u multifilu bez zákrutu jsou největší hodnoty ϵ_1 i ϵ_2 ; u polyesteru s rostoucí axiální silou se snižuje relativní rozšíření i relativní stlačení, ale u polypropylenu relativní stlačení se významně statisticky nemění;
- oproti materiálu bez zákrutu, multifil se zákrutem 250m^{-1} má menší hodnoty ϵ_2 (mírně se rozšiřuje) i ϵ_1 ; s rostoucí axiální silou se statisticky významně zmenšuje relativní rozšíření, relativní stlačení se statisticky významně nemění;
- multifil se zákrutem 600m^{-1} má nejmenší hodnoty ϵ_1 a ϵ_2 (mírně se rozšiřuje i stlačuje); s rostoucí axiální silou ϵ_2 se statisticky významně mění, ale ϵ_1 se statisticky významně mění u polyesteru a u polypropylenu s nižším radiálním zatížením;

3. vliv zákrutu Z

- u materiálu se zákrutem $250, 600\text{m}^{-1}$ hraje vliv kombinace F_z, F_r, F_a , proto je doporučeno stanovit model pro multifil bez zákrutu a se zákrutem zvlášť.
- materiál s větším zákrutem lze popsat podle hypotézy o zachování plochy, a to, že se tvar mění z kruhového tvaru na tvar elipsy, případně čocky. Multifil bez zákrutu (jak polypropylen, tak i polyester) nelze popsat podle výše uvedených hypotéz. Z grafu je vidět, že plocha multifilu se zvětšuje, tj. při zatěžování dochází k rozsypání fibril.

4. vliv materiálu

- parametry ϵ_1 i ϵ_2 u polypropylenu v porovnání s polyesterem (při stejných ostatních parametrech), jsou statisticky významně menší (nebo výjimečně stejné). To může být způsobeno odlišnou povrchovou úpravou (třecí vlastnosti), nebo různým počtem fibril (větší počet u polypropylenu). Dalším faktorem by mohla být velikost zatěžovacích sil, která je volena u obou materiálů odlišné jemnosti ve stejné absolutní hodnotě. Je otázkou, zda nemělo být přihlíženo i k stejnému poměrnému zatížení (síla vztažená na jemnost, nebo plochu).

Vyhodnocení dat a návrh regresních modelů

Bylo provedeno statistické vyhodnocení pro polypropylenové a polyesterové hedvábí, a na základě tohoto vyhodnocení bylo zjištěno, že pro popis závislosti relativního rozšíření na relativním stlačení bude lépe hodnotit oba materiály dohromady. Na základě naměřených dat bylo konstatováno, že chování materiálu **s větším zákrutem** lze popsat podle hypotézy o zachování plochy (tvar příčného řezu se podobá tvaru elipsy). Proto byl pro popsání **závislosti mezi relativním rozšířením a relativním stlačením pro multifil se zákrutem** navržen regresní model ve tvaru

$$\varepsilon_2 = P_1 \frac{\varepsilon_1}{(\varepsilon_1 + 1)^{P_2}} \quad (30)$$

s koeficienty $P_1 = -1,03 < -1,38; -0,67 > [\mu\text{m}]$ a $P_2 = 0,67 < 0,23; 1,11 > [\mu\text{m}]$.

Při hledání souvislostí mezi relativním rozšířením (resp. relativním stlačením) a působícími mechanismy zatěžování (radiální síla, axiální síla a zákrut) bylo zjištěno, že hodnoty pro multifil z polypropylenového a polyesterového materiálu vykazují statisticky významné rozdíly a proto bude lépe je hodnotit zvlášť.

Pro popis závislostí na radiální síle, axiální síle a zákrutu byl pro relativní rozšíření i relativní stlačení nalezen regresní model ve tvaru

$$\varepsilon_{1,2} = P_1 + P_2 Z + P_3 F_a + P_4 F_r. \quad (31)$$

Všechny nalezené regresní koeficienty jsou uvedeny v tabulce 2 spolu s 95% IS.

	ε_1		ε_2	
	PES	POP	PES	POP
P_1	-0,59 <-0,68; -0,49>	-0,68 <-0,72; -0,65>	1,45 <1,27; 1,63>	0,78 <0,68; 0,88>
P_2	0,0006 <0,0005; 0,0008>	0,0011 <0,001; 0,0012>	-0,002 <-0,0022; -0,0016>	-0,001 <-0,001; -0,0009>
P_3	-0,012 <-0,017; 0,008>	-0,004 <-0,006; -0,003>	0,02 <0,01; 0,03>	0,01 <0,005; 0,015>
P_4	0,3 <0,07; 0,53>	0,21 <0,13; 0,28>	-0,87 <-1,3; -0,45>	-0,83 <-1,08; -0,59>

Tabulka 2: Koeficienty regresních modelů ε_1 a ε_2 pro polyesterový a polypropylenový multifil

Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na problematiku radiální deformací multifilu. Na osnově prostudované teorii v rešeršní části byly popsány základní parametry délkové textilie, vliv takových druhů namáhání, jako ohyb, torze, tah a tlak, na deformace průřezu svazku vláken, je znázorněn rozdíl mezi strukturou příze a multifilu. Dále jsou představené už známe modely radiální deformace průměru délkové textilie.

Hlavním úkolem této práce bylo zkoumat deformační vlastnosti multifilu, který byl zatěžován kombinací trojího namáhání. Axiální silou F_a působící v podélném směru multifilu, radiální silou F_r kolmou k průřezu multifilu a dostředivou silou F_z vyvozenou zákrutem. Zkoumaný multifil měl tři různé zákruty, každý zakroucený multifil byl zatěžován třemi různými předpětími, každý zakroucený multifil s různým předpětím byl zatěžován třemi různými deskami. Měření bylo časově i manuálně velmi náročné a vyžadovalo velkou přesnost.

Vliv působení jednotlivých sil od sebe nelze jednoznačně oddělit, protože se navzájem velmi ovlivňují. Dostředivá síla F_z a radiální síla F_r působí proti sobě a navzájem se ovlivňují. S rostoucím počtem zákrutů se multifil méně rozšiřoval i méně zplošťoval. Také lze konstatovat, že s rostoucí axiální silou se statisticky významně snižují hodnoty relativního rozšíření ε_2 jak u multifilu z polyesteru tak i u multifilu z polypropylenu. S rostoucí axiální silou relativní stlačení ε_1 statisticky významně se zmenšuje jen u polyesteru se zákrutem 600m^{-1} a u polypropylenu, který je namáhán větším radiálním zatížením.

Byl navržen regresní model závislosti mezi relativním rozšířením a relativním stlačením pro multifil se zákrutem (pro polypropylen a polyester dohromady), také byl nalezen regresní model pro popis závislosti na radiální síle, axiální síle a zákrutu pro relativní rozšíření i relativní stlačení (zvláště pro každý materiál).

Hlavním nedostatkem měření metodou zplošťování mezi dvěma rovnoběžnými deskami, je nepřesné a problematické měření charakteristického rozměru b . Indikátorové hodinky na přípravku pro stlačování by bylo potřeba zpřesnit a zcitlivět. Většina nepřesností a statistických chyb byla způsobena právě měřením charakteristického rozměru b . Také lidský faktor velmi ovlivnil výsledky měření. Přenášení zakrouceného multifilu ze

zákrutoměru do přípravku na stlačování nebylo jednoduché a mohlo zde dojít k mírnému rozkroucení multifilu.

Multifil měl různé jemnosti s různým počtem fibril, proto se nedají přesně porovnat závislosti hodnot ε_1 i ε_2 na veličinách zatěžovacích sil dvou materiálů mezi sebou. Pro další poznatky v této oblasti bude zajímavé srovnat dva multifily z různého materiálu, ale se stejným počtem fibril nebo se stejným poměrným zatížením.

Literatura

- [1] NECKÁŘ, B.: Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti. SNTL Praha 1990.
- [2] DRAŠAROVÁ, J.: Analýza příčných řezů tkaniny. Disertační práce TU Liberec 2004.
- [3] FROŇKOVÁ, P.: Radiální deformace multifilu ve vazném bodě. Diplomová práce TU Liberec 2003.
- [4] DRAŠAROVÁ, J.: Deformace příčného řezu délkové textilie ve vazném bodě tkaniny. 7. národní konference STRUTEX, TU Liberec 2000, str. 127-134.
- [5] MARKO, J.: Jádrová skaná nit. Kandidátská práce, TU Liberec 1990.
- [6] KOVÁŘ, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií, TU Liberec 2002.
- [7] NECKÁŘ, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vlákenných útvarů. TU Liberec 1998.
- [8] KAVAN, P.: Modelování jednoosých tahově deformačních vlastností tkanin plátnové vazby počítačem. Kandidátská disertační práce, VŠST Liberec 1985.
- [9] KRUPINCOVÁ, G., JANÁČKOVÁ, H., KŘEMENÁKOVÁ, D.: Stlačování příze mezi rovnoběžnými deskami. 8. konference STRUTEX, TU Liberec 2001, str. 79-87.

Příloha I

Tabulky

Tabulka 1: Spočítané a naměřené hodnoty u multifilu se zákrutem 0m^{-1} a axiální silou 0N

	PES						POP					
	charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b			charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b		
$F_r [\text{N}]$	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
<i>Průměrná hodnota</i> $[\mu\text{m}]$	564,0304	592,7172	624,7444	56,84	46,64	37,8	2196,334	2489,303	2725,11	230	196,72	172,4
<i>Směr. odchylka</i> $[1]$	43,9283	35,9136	42,1912	9,6379	6,9695	10,6458	149,2291	150,154	284,9989	38,5206	29,5713	23,8886
<i>Relativní stlačení</i> $\epsilon_1 [1]$				-0,6197	-0,6879	-0,7471				-0,6442	-0,6956	-0,7333
<i>Konfidence</i> $[1]$				0,02523	0,0183	0,0279				0,0234	0,01794	0,0145
<i>Relativní rozšíření</i> $\epsilon_2 [1]$	2,7741	2,966	3,1803				2,3981	2,8514	3,2162			
<i>Konfidence</i> $[1]$	-0,1152	-0,0942	-0,1107				-0,0905	-0,0911	-0,1729			

Tabulka 2: Spočítané a naměřené hodnoty u multifilu se zákrutem 0m^{-1} a axiální silou 0,25N

	PES						POP					
	charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b			charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b		
F_r [N]	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
<i>Průměrná hodnota</i> [μm]	476,3604	524,1856	537,7292	66,04	59,48	50,48	2119,3840	2267,9564	2442,682	235,88	197,4	165,28
<i>Směr. odchylka</i> [1]	59,3405	48,8068	36,5645	9,2533	7,9221	7,5118	222,6101	178,9323	147,5647	24,8507	27,59	31,7074
<i>Relativní stlačení</i> ϵ_1 [1]				-0,5581	-0,602	-0,6622				-0,6351	-0,6946	-0,7443
<i>Konfidence</i> [1]				0,0243	0,0208	0,0197				0,0151	0,0167	0,0192
<i>Relativní rozšíření</i> ϵ_2 [1]	2,1874	2,5074	2,5981				2,2791	2,5089	2,7793			
<i>Konfidence</i> [1]	-0,1556	-0,128	-0,0959				-0,135	-0,1085	-0,0895			

Tabulka 3: Spočítané a naměřené hodnoty u multifilu se zákrutem 250m^{-1} a axiální silou 0N

	PES						POP					
	charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b			charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b		
F_r [N]	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
<i>Průměrná hodnota</i> [μm]	310,7256	334,602	360,2616	83	68,28	51	1022,0220	1058,6236	1128,3832	377,8800	354,08	324,96
<i>Směr. odchylka</i> [1]	22,991	26,4626	19,8067	8,5781	10,8992	10,2266	76,9801	76,8688	75,9451	22,3706	28,9754	31,6695
<i>Relativní stlačení</i> ϵ_1 [1]				- 0,4446	-0,5431	-0,6588				-0,4154	-0,4522	-0,4972
<i>Konfidence</i> [1]				0,0225	0,0286	0,0268				0,0136	0,0176	0,0192
<i>Relativní rozšíření</i> ϵ_2 [1]	1,0791	1,2389	1,4106				0,5813	0,6379	0,7458			
<i>Konfidence</i> [1]	-0,0603	-0,0694	-0,0519				-0,0467	-0,0466	-0,0461			

Tabulka 4: Spočítané a naměřené hodnoty u multifilu se zákrutem 250m^{-1} a axiální silou $0,25\text{N}$

	PES						POP					
	charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b			charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b		
$F_r [\text{N}]$	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
<i>Průměrná hodnota</i> [μm]	256,5332	292,8704	317,9936	85,6	72,96	54,56	827,0448	894,1392	981,0864	398,32	386,40	370,96
<i>Směr. odchylka</i> [1]	15,7699	20,7905	19,5426	10,9773	8,4975	8,4758	32,8668	41,7247	64,4712	38,7887	37,7183	36,987
<i>Relativní stlačení</i> ϵ_1 [1]				-0,4272	-0,5118	-0,6349				-0,3837	-0,4022	-0,4261
<i>Konfidence</i> [1]				0,0288	0,0223	0,0222				0,0235	0,0229	0,0224
<i>Relativní rozšíření</i> ϵ_2 [1]	0,7165	0,9597	1,1278				0,2796	0,3834	0,5179			
<i>Konfidence</i> [1]	-0,0414	-0,0545	-0,0513				-0,0199	-0,0253	-0,0391			

Tabulka 5: Spočítané a naměřené hodnoty u multifilu se zákrutem 600m^{-1} a axiální silou 0N

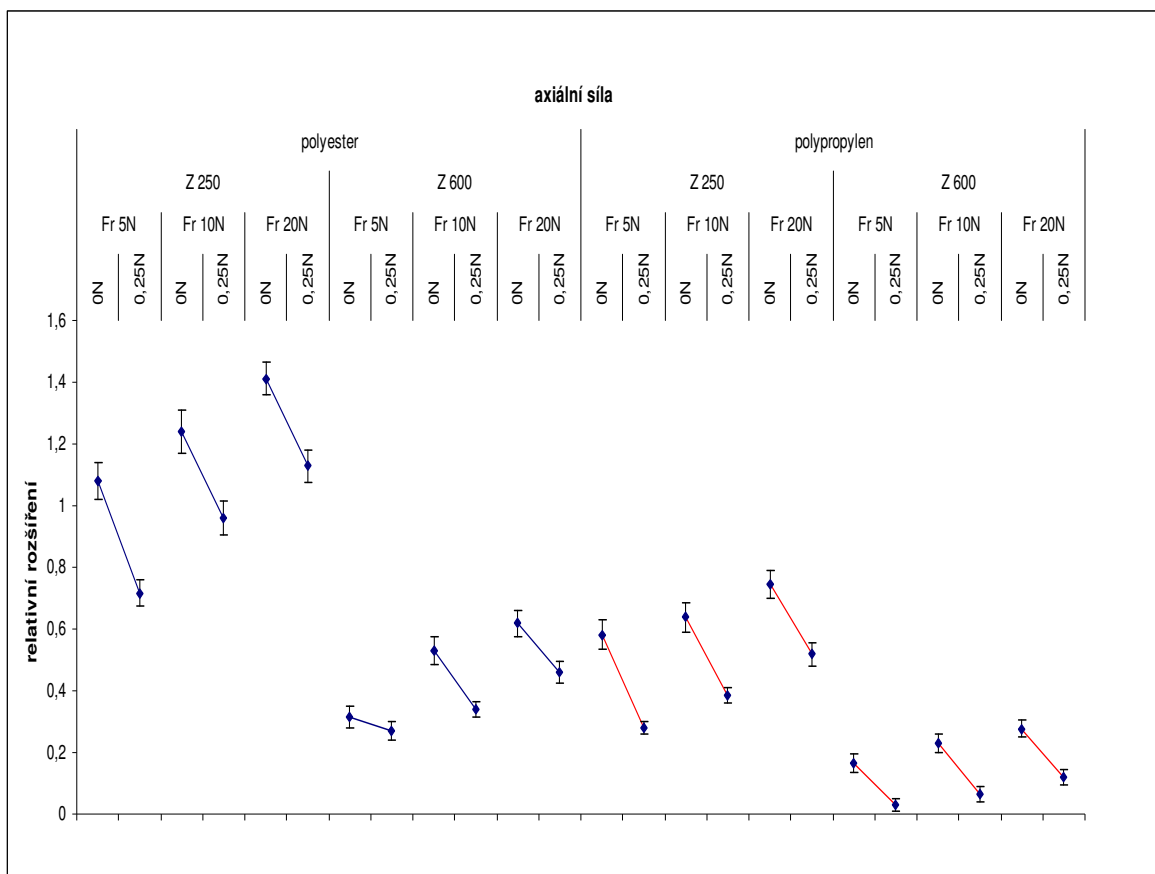
	PES						POP					
	charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b			charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b		
F_r [N]	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
<i>Průměrná hodnota</i> [μm]	196,4092	228,67	241,7788	107,56	91,88	82,4	753,0072	794,8912	824,6908	635,4000	605,72	571,04
<i>Směr. odchylka</i> [1]	12,7389	17,4197	17,0106	16,8203	14,2341	16,8375	46,2612	49,1461	46,8317	33,3567	43,2893	38,9802
<i>Relativní stlačení</i> ϵ_1 [1]				-0,2803	-0,3852	-0,4486				-0,0169	-0,0628	-0,1165
<i>Konfidence</i> [1]				0,0441	0,0373	0,044				0,0136	0,0263	0,0236
<i>Relativní rozšíření</i> ϵ_2 [1]	0,3142	0,5301	0,6178				0,1650	0,2298	0,2759			
<i>Konfidence</i> [1]	-0,0334	-0,0457	-0,0446				-0,0281	-0,0298	-0,0284			

Tabulka 6: Spočítané a naměřené hodnoty u multifilu se zákrutem 600m^{-1} a axiální silou $0,25\text{N}$

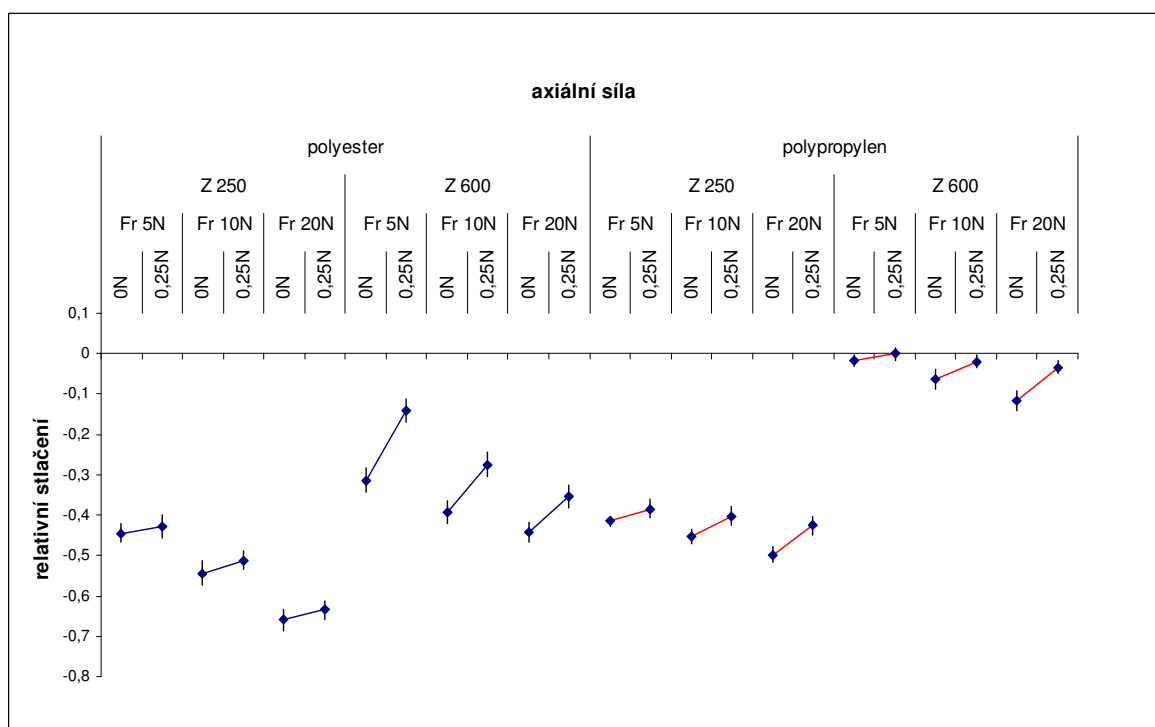
	PES						POP					
	charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b			charakteristický rozměr a			charakteristický rozměr b		
$F_r [\text{N}]$	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
<i>Průměrná hodnota</i> [μm]	189,8208	200,132	218,25	126,76	104	90,92	665,4016	689,3216	723,886	646,2	634	624,32
<i>Směr. odchylka</i> [1]	12,0901	9,4608	14,0647	13,68174	17,72475	14,38726	35,2666	39,8216	44,2475	27,8268	26,5314	25,8823
<i>Relativní stlačení</i> ϵ_1 [1]				-0,15182	-0,30411	-0,39163				-0,0002	-0,0191	-0,0341
<i>Konfidence</i> [1]				0,035886	0,04649	0,037736				-0,0165	0,0161	0,0157
<i>Relativní rozšíření</i> ϵ_2 [1]	0,2701	0,3391	0,4604				0,0295	0,0665	0,12			
<i>Konfidence</i> [1]	-0,0317	-0,0248	-0,0369				-0,0214	-0,0242	-0,0268			

Příloha II

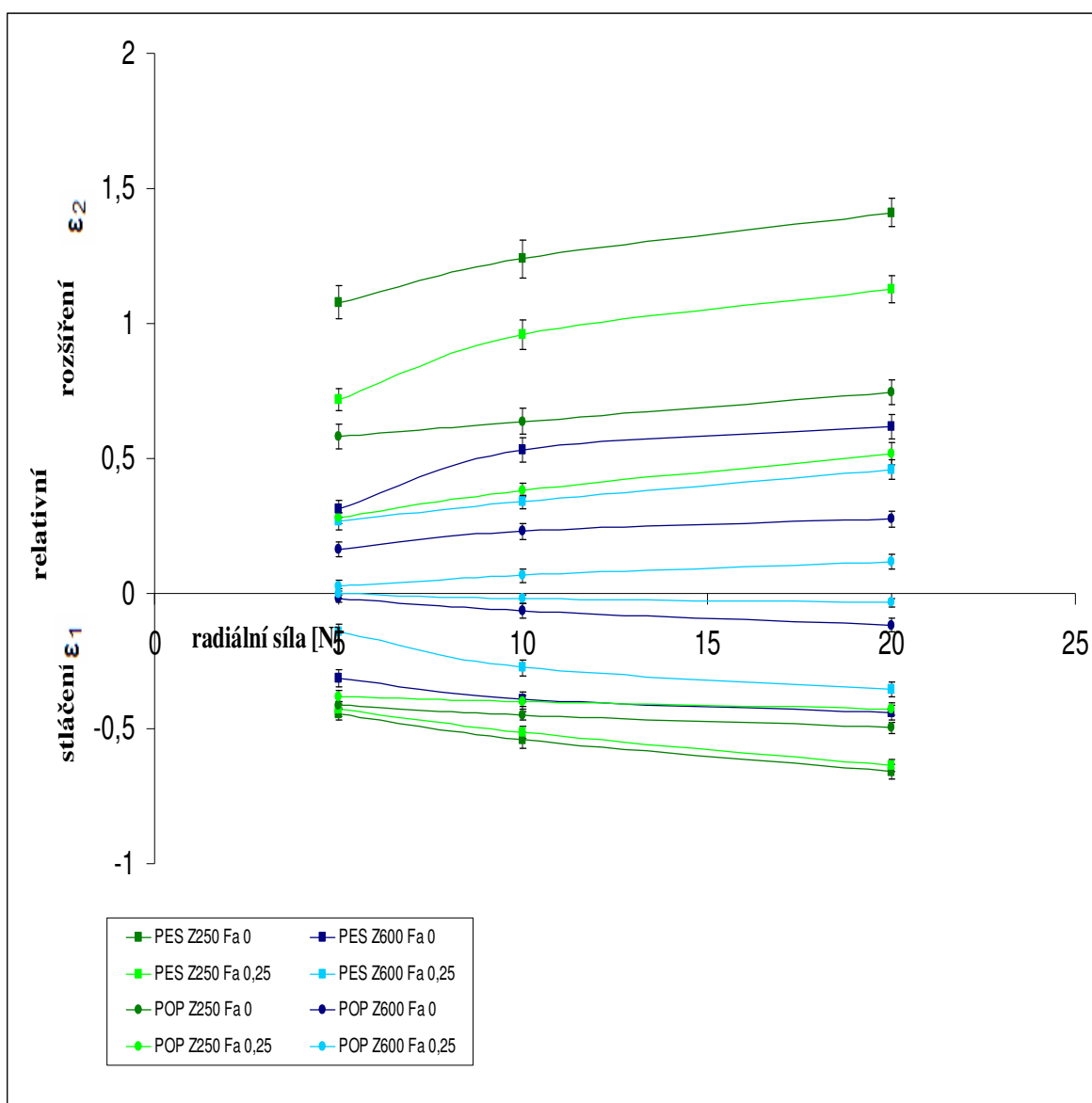
Grafy



Obr. 1: Závislost relativního rozšíření na axiální síle



Obr. 2: Závislost relativního stlačení na axiální síle



Obr. 2: Závislost relativního stlačení a relativního rozšíření na radiální síle